Über die Ausbildung der Jahresringe

an

der Grenze des Baumwuchses in den Alpen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Von

Markus Rosenthal
aus Rawitsch in Posen,
Oberlehrer in Berlin.

ACAD. LANDWIRTH. BIBL.

Mit einer Tafel.

Tag der Promotion: 14. Mai 1904.

Referenten:

Prof. Dr. **Schwendener.**

Prof. Dr. **Engler.**

Druck von W. Pormetter in Berlin.

Meinen lieben Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548904_0055

Der Einfluſs des alpinen Klimas auf die Pflanzenwelt ist schon häufig Gegenstand wissenschaftlicher Forschung gewesen. Die so ganz eigentümliche Tracht der Gewächse in den Höhengebieten, ihre stark ausgebildeten Wurzeln, die geringe Länge der Achsenglieder, die (im allgemeinen) kleineren Blätter und gröſseren Blüten muſsten die Aufmerksamkeit des Botanikers in hohem Maſse auf sich lenken. Eine überaus reichhaltige Literatur, die meines Wissens etwa mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts einsetzt, beleuchtet denn auch diesen Gegenstand nach der äuſseren, oder — wie wir in diesem Falle wohl sagen können — nach der morphologischen Seite hin. In neuerer Zeit wurde unsere Kenntnis des in mancher Hinsicht eigenartigen Verhaltens der alpinen Gewächse durch sorgfältige phänologische Beobachtungen bereichert. Indessen waren es gerade die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die der Wissenschaft eine groſse Zahl schwieriger Fragen vorlegten. Wenn man findet, daſs die Pflanze in den hohen Gebirgslagen gezwungen ist, ihre ganze Lebensarbeit in beiläufig 2—3 Monaten zu verrichten, in dieser Zeit nicht nur für den vegetativen Aufbau, sondern auch für die Samenreife und die Fortpflanzung zu sorgen, unter Bedingungen, die nach unserer Auffassung weit ungünstiger sind, als diejenigen, welchen die Talgewächse unterworfen sind, so müssen notwendigerweise auch Ausgleichsfaktoren auftreten, die es der Pflanze ermöglichen, den schweren Kampf gegen diese harten Bedingungen aufzunehmen und siegreich zu beenden. Diese Ausgleichsmomente können in dem Höhenklima selbst begründet sein, d. h. es können neben den ungünstigen Bedingungen auch solche zur Geltung kommen, die für das alpine Klima charakteristisch und zugleich für die Pflanzenwelt günstig sind. Genaue Beobachtungen ergaben, daſs derartige klimatische Eigentümlichkeiten tatsächlich vorhanden sind, daſs sie aber nicht ausreichen können, um die Höhenpflanzen ihren Schwestern im Tale hinsichtlich der Lebensbedingungen gleich zu stellen[1]).

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hat man es schon vor mehreren Jahrzehnten unternommen, die Gründe für die Fähigkeit, sich in dem unwirtlichen Klima zu behaupten, in der Pflanze selbst zu suchen. So sieht man z. B. in den niedrigen, an der Erde hinkriechenden Gebüschen des Krummholzes und der Zwergsträucher das Be-

[1]) Hann, „Klimatologie“ I. Stuttgart 1897. Ferner A. F. Schimper, „Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage“. Jena 1898. Kerner, „Die Kultur der Alpenpflanzen“. Innsbruck 1864, aufserdem die auf den nächsten Seiten angegebene Literatur.

streben, die Wärme des Bodens auszunutzen, in dem dichten Geflecht ihrer mit meist lederartigen Blättern besetzten Zweige ein vorzügliches Schutzmittel gegen die überstarke Transpiration; in der Reduktion der vegetativen Pflanzenteile und Bevorzugung der Fortpflanzungsorgane eine sichtbare Anpassung an die Kürze der Vegetationsdauer, die der alpinen Pflanze beschieden ist.

Aber nicht nur der äufsere Habitus, sondern auch die innere Struktur ist mit Hülfe des Mikroskops einer eingehenden Untersuchung unterworfen worden. Diese letzterwähnten Forschungen sind durchwegs neueren Datums. Um nur die wichtigsten dieser Arbeiten zu nennen, seien hier vor allem die zahlreichen experimentellen Untersuchungen von Gaston Bonnier[1]) erwähnt, ferner die Arbeiten von Leist[2]), Wagner[3]) und v. Lazniewski[4]). Bonnier wies nach, dafs viele auffällige Merkmale der Alpengewächse dem Einflusse des Höhenklimas zuzuschreiben sind. Zu diesem Zwecke legte er auf hohen Bergen der Alpen und der Pyrenäen Versuchsgärten an, und erhielt stets eine stärker ausgebildete Epidermis, eine Verdickung des Blattes bei einer Verringerung der Blattfläche, ferner eine starke Verkürzung der Stengelglieder und somit eine Verringerung der Gröfse. Die Resultate der Untersuchungen von Leist stehen mit denen Bonnier's zum Teil in erheblichem Widerspruch. Während Bonnier die Blattverdickung der stärkeren Cuticula, in erster Reihe aber der erhöhten Ausbildung des Palisadenparenchyms zuschreibt, findet Leist allgemein ein Zurückgehen des Assimilationsgewebes, betont aber gleichfalls die Verdickung der Aufsenwand. Um nun über diesen Gegenstand ins Klare zu kommen und den Widerspruch womöglich zu lösen, stellte Wagner seine Untersuchung an einer grofsen Zahl der verschiedensten Pflanzenarten an, die an hohen Standorten gewachsen waren. In den meisten Fällen neigt er zu den Ansichten Bonniers, wiewohl er die klimatischen Einflüsse des Höhenklimas, namentlich bezüglich der Verdunstungskraft im Gegensatz zu Bonnier auf ähnliche Weise zu erklären sucht wie Leist. Die Hauptresultate seiner Forschungen lassen sich dahin zusammenfassen, dafs die Pflanzen der Höhen wohl eine stärkere Ausbildung des Palisadenparenchyms aufweisen, aber im allgemeinen eines besonderen Transpirationsschutzes entbehren. Lazniewski endlich bestreitet, dafs man von einem einheitlichen Charakter der Alpenpflanzen reden könne. Die Verdunstungsverhältnisse an benachbarten Stellen seien zwar sehr ähnlich, aber der Wassergehalt des Bodens sehr verschieden und für die Zusammensetzung der Vegetation

---

[1]) Bonnier, G. Cultures expérimentales dans des Alpes et les Pyrénées. Revue générale de botanique. Tome II. Cultures expérimentales dans les hautes altitudes. Comptes rendues de l'Académie des sciences. 1890. Influence des hautes altitudes sur les fonctions des végétaux. ibd. Etude expérimentale sur l'influence du climat alpin sur la végétation et les fonctions des plantes. Bulletin de la société botanique de France. 1888. Observations sur la Flore alpine de l'Europe. Les plantes arctiques comparées aux mêmes espèces des Alpes et des Pyrénées. Revue générale de botanique. Tome VI. 1894. Recherches expérimentales sur l'adaptation des plantes au climat alpin. Annales des sciences naturelles. 7e série. T. XX.

[2]) K. Leist, Über den Einfluſs des alpinen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter. Mitteilg. der Naturforsch. Gesellsch. zu Bern. 1890.

[3]) A. Wagner, Zur Kenntnis des Blattbaues der Alpenpflanzen und dessen biologischer Bedeutung. Sitzungsber. d. k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. 101. Abt. 1. 1892.

[4]) W. v. Lazniewski, Beiträge zur Biologie der Alpenpflanzen. Flora Bd. 82. 1896.

entscheidend. Eine besondere Berücksichtigung finden bei ihm die Felsenpflanzen, unter denen viele mit ausgesprochenen Schutzeinrichtungen gegen Transpiration versehen sind.

Die soeben in aller Kürze besprochenen Arbeiten, die der Hauptsache nach den Stand des Wissens über den fraglichen Gegenstand wiedergeben, beschäftigen sich fast ausschliefslich nur mit dem Gewebebau des Blattes. Es ist ja auch ganz natürlich, dafs man in erster Linie als Untersuchungsgegenstand dasjenige Organ wählt, das augenscheinlich den Witterungseinflüssen am meisten ausgesetzt ist, und das ist eben unstreitig das Blatt. Indessen ist wohl auch die Frage nicht überflüssig, wie sich die anderen vegetativen Teile der Pflanze, insbesondere die Achsen der Holzgewächse in ihrem histologischen Bau verhalten werden; denn wenn einmal zugegeben wird, dafs dem alpinen Blatte in seinem Bauplan gegenüber dem Blatt der Talpflanze gewisse abweichende Merkmale zukommen, so liegt wegen der unbestrittenen Abhängigkeit aller Organe von einander auch der Gedanke nahe, die Stammteile der Höhengewächse auf ihre Eigentümlichkeiten zu prüfen; — haben doch die Untersuchungen R. Hartigs und anderer ergeben, dafs die Pflanze sehr wohl imstande ist, auch in ihrem Holzkörper auf äufsere Einflüsse zu reagieren. Von den vorhin erwähnten Forschern beschäftigt sich der letzte, nämlich v. Lazniewski, ebenfalls mit dieser Frage, indem er der Holzstruktur der alpinen Weiden eine kurze Berücksichtigung angedeihen läfst. Der Verfasser findet, dafs der Holzzuwachs der alpinen Weiden mit zunehmender Höhe stetig abnimmt, während der Anteil der Gefäfse im Holze beständig wächst, woraus er auf einen stärkeren Wasserstrom in der Pflanze an höheren als an niedrigen Standorten schliefst. Ferner möchte ich nicht unerwähnt lassen, dafs sich bereits in den „Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen“ von Hermann und Adolf Schlagintweit aus dem Jahre 1850 auch ein Kapitel befindet, das unter der Überschrift: „Pflanzengeographische Untersuchungen“ nicht nur eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Vegetationsgrenzen nach der Höhe und eine grofse Reihe wertvoller phänologischer Ergebnisse mitteilt, sondern auch die auf zahlreichen Querschnitten gemessenen Jahresringbreiten der Holzgewächse angibt und hieraus die Abnahme des Dickenzuwachses mit zunehmender Höhe des Standortes zur Veranschaulichung zu bringen sucht. Im übrigen ist mir von einschlägigen Untersuchungen nur noch das Referat über eine vor mehreren Monaten erschienene Arbeit von Zdarek[1]) zu Gesicht gekommen, worin behauptet wird, dafs der Tüpfelreichtum in den Tracheïden der Fichten der Höhenlage gröfser sei als in der Tiefenlage. Ich werde später auf diese Bemerkung noch zurückzukommen haben.

Je weiter man im Gebirge hinaufsteigt, um so kleiner werden die Pflanzen. Verfolgen wir insbesondere die Holzgewächse, so werden wir zunächst in der basalen und der montanen Region, die der Holzbildung wegen der ergiebigen Regenschauer günstig sind, keine Veränderung gegenüber dem Tiefland beobachten. Gehen wir aber noch

[1]) Zdarek, Robert, Hoftüpfel des Fichten- und Lärchenholzes. Österr. Forst- und Jagdzeitung. Wien. No. 21. p. 185. Ref. im Bot. Centralbl. 1903. Heft 32. p. 130.

weiter, so kommen wir in den sogenannten alpinen Gürtel des Gebirges. Wir bemerken jetzt ein rasches Abnehmen des Holzwuchses; die hochstämmigen Bäume sind verschwunden und räumen ihren Platz den nur noch mannshohen Beständen der Fichte ein, die noch höher hinauf allmählich der Lärche und Arve das Feld überläfst. Aber bald haben wir auch diese niederen Wälder verlassen, immer kleiner und zwerghafter werden die Stämme, und schliefslich sehen wir nur noch verkrüppelte, oft nur kniehohe, am Boden hinschleichende Sträucher, aus denen an einzelnen besonders geschützten Stellen ein unscheinbares Birkenbäumchen über das Niveau des umgebenden Gestrüpps emporragt. Das ist das Gebiet der Legföhre. Hat uns auch nur ein Teil der Tieflandsarten auf unserer Wanderung in die Höhe begleitet, so ist die Vegetation selbst an Holzgewächsen noch nicht arm zu nennen. Ja sogar sommergrüne Hölzer finden sich noch in gröfserer Zahl und wachsen auch weit jenseits der Baumgrenze: An den schroffen Gehängen wurzelt in den schmalen Ritzen der Felsen der Zwergwegdorn (Rhamnus pumila) und überzieht in krausem Geflecht die senkrechten Wände; eng angepreſst an den Boden, schlängeln sich die zierlichen alpinen Weiden dahin, deren oft nur federkieldicke Zweige wie ein Teppich mit niederem Buschwerk die Erde bedecken. Längs der Ufer der Bäche und Rinnsale kann man die rotfrüchtige Zwergmispel verfolgen (Sorbus Chamaemespilus), während die feuchten Lehnen oberhalb der Baumgrenze von den aufrechten Gebüschen der Grünerle (Alnus viridis) bedeckt werden. Auf steinigen Triften weitverbreitet findet sich die Alpenbärentraube (Arctostaphylos alpina) mit welkenden Blättern und hingestrecktem Stamm neben der auch bei uns heimischen gemeinen Bärentraube (Arctostaphylos uva ursi), die mit immergrünen Blättern versehen ist. Wenn wir noch an die sommergrünen Arten der Vaccinieen und an die nicht gerade allzuhäufigen Vertreter der Gattungen Lonicera, Rosa und Ribes erinnern, so dürften damit wohl die verbreitetsten und wichtigsten laubabwerfenden Holzgewächse der wirklich alpinen Region Berücksichtigung gefunden haben. — Gröfser ist die Zahl der immergrünen Pflanzen. Es gehören hierzu nicht nur die vorhin erwähnten Coniferenbestände von Picea und Pinus — Larix ist natürlich den sommergrünen Hölzern zuzuzählen — sondern auch der als kriechender Zwergstrauch ausgebildete Wachholder (Juniperus nana). Weite Halden werden von der Rauschbeere (Empetrum nigrum) bekleidet, zu der sich gewöhnlich noch die Preifselbeere (Vaccinium Vitis idaea) hinzugesellt. In hochgelegenen Mooren finden die liegende Azalea (Azalea procumbens) und einige Ericaceen, wie Erica carnea meist günstige Lebensbedingungen, während die schon vorhin erwähnte gemeine Bärentraube dem mageren Waldboden und den steinigen Felsterrassen den Vorzug gibt. Steile Gehänge werden von den Alpenrosen bewohnt, während die prächtig blühende Silberwurz (Dryas octopetala) auf ebenem Humusboden zu finden ist. Nicht zu vergessen ist endlich das Heidekraut (Calluna vulgaris), eine merkwürdige Pflanze, die eigentlich in fast ganz Europa zu Hause ist und sich häufig in geschlossenen Beständen vom Fufse des Gebirges bis in die Hochalpenregion hinaufzieht. Alle diese kleinen Sträucher gehen stellenweise noch weit über die äufserste Baumgrenze hinaus und können sich selbst in einer Seehöhe erhalten, in der die Vegetationsdauer nur noch auf ca. drei Monate bemessen ist. — Die Zahl der angeführten Beispiele könnte noch stark vermehrt werden, doch möge die Anführung der genannten Pflanzen genügen; sie sind es auch, die der Alpenlandschaft das Gepräge geben.

Viele der hier geschilderten Gewächse haben wir, schon rein äufserlich betrachtet, einfach als Miniaturgebilde derjenigen Gehölze anzusehen, die wir in der Ebene unter gleichem Namen wiederfinden. Denken wir z. B. an die hohen Kiefern, die stämmigen Lärchen und Fichten unserer Wälder, und vergleichen sie mit den verkrüppelten Gebilden, wie sie dem Hochgebirge eigentümlich sind, so werden wir nicht umhinkönnen zu behaupten, dafs die letzteren sich jenen gegenüber verhalten wie die Zwerge zu den Riesen. Es kann daher nicht wundernehmen, wenn wir auch in der innerern Ausbildung, zumal in dem Zuwachs der Jahresringe diesen Vergleich bestätigt finden. Aber auch für diejenigen Gewächse, welche nicht eigentlich in der Ebene ihre Heimstätte haben, sondern ihrer ganzen Anlage nach so recht den Charakter von Gebirgs- oder Polarpflanzen aufweisen, trifft dieses Bild noch zu, sobald man sie mit Individuen vergleicht, die im Tale kultiviert wurden. Die weiter unten folgende Tabelle soll diese Verhältnisse ziffernmäfsig erläutern. Es wurden zu diesem Zwecke von den zur Untersuchung verwendeten Exemplaren an verschiedenen Stellen Querschnitte angefertigt und nach möglichst genauer Bestimmung der Radiuslänge und der Anzahl der Jahresringe die durchschnittliche Breite der jährlichen Zuwachszone ermittelt. Die genaue Ausmessung der Radien war oft mit Schwierigkeiten verknüpft wegen der häufig auftretenden grofsen Unregelmäfsigkeiten des Querschnitts und der fast stets zu beobachtenden recht starken Exzentrizität. In solchen Fällen mufsten dann dieselben Ermittelungen nach verschiedenen und zwar möglichst vielen Richtungen vom Marke aus vorgenommen werden. Eine andere nicht selten eintretende Beeinträchtigung der Genauigkeit lag in der Unmöglichkeit, die Ringgrenzen immer mit der erforderlichen Schärfe festzustellen. Es liegt in der Natur der Sache, dafs dieser Umstand zumeist nur bei dicotylen Sträuchern eintrat, während die Querschnitte der Nadelhölzer wegen der starken Abplattung der Spättracheïden und der Verdickung ihrer Membranen von diesen Fehlerquellen frei blieben. Doch machten sich aus Gründen, die später ihre Erörterung finden werden, selbst bei den Nadelhölzern bisweilen Schwierigkeiten geltend, wenn es sich um die Abzählung der letzten Jahresringe älterer Individuen handelte. Es sei noch bemerkt, dafs die Jahresringe durchwegs mit dem Mikroskop abgezählt wurden, weil in den meisten Fällen die Ringbreite hinter dem für das unbewaffnete Auge Sichtbaren weit zurückblieb.

Tabelle I (Dicotyledonen).

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren	Mittlere Breite der Jahresringe in mm	
Arctostaphylos alpina	Innsbruck, Kalkboden, Felsen	1900	ca. 45	0,093	(10) 0,173
„ „	Samaden	2300	ca. 28	0,054	(10) 0,073
Arctostaphylos uva ursi	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1300	13	0,385	an der
„ „ „	Karer Pafs (Tyrol)	1900	23	0,369	breitesten
„ „ „	Samaden	2000	29	0,19	Stelle
Aronia rotundifolia	Dahlem bei Berlin		3	2,02	
„ „	Innsbr., Talsohle, Sandbod.	580	ca. 12	0,57	
„ „	Innsbr., Kalkboden, Felsen	1400	25	0,42	(3) 0,688

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren	Mittlere Breite der Jahresringe in mm
Alnus viridis	Dahlem b. Berlin		3	3,25
„ „	Innsbr., feuchter Lehm	1900	37	0,473 (3) 0,559
Atragene alpina	Innsbr., Talsohle	580	10	0,3
„ „	Innsbr., Kalkbod., Wald	1400	14	0,154 (10) 0,156
Azalea procumbens	Dahlem b. Berlin		8	0,098
„ „	Innsbruck, Felsen	1900	ca. 14	ca. 0,055 (8) 0,057
„ „	Samaden	2400	ca. 35	ca. 0,07
Betula alba Ast	Innsbr., Talsohle	580	8	1,25
„ „ Stamm	„ „	„	17	0,909
„ „ Ast	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1900	46	0,283 (8) 0,378
„ pubescens	Samaden	2100	42	0,3682
Calluna vulgaris	Jungfernheide b. Berlin		4	0,51
„ „	Innsbr., Kalkbod., Wald	1400	7	0,42 (4) 0,458
„ „	„ Schieferbd., Wald	1750	9	0,36
„ „	Karer Pafs	2000	7	0,14 (4) 0,137
Dryas octopetala	Dahlem b. Berlin		4	0,81
„ „	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1800	? 35	? 0,11
„ „	Alp Mingèr	2160	?	? 0,156
Empetrum nigrum	Dahlem b. Berlin		6	0,31
„ „	Innsbr., Kalkbod., Felsen	1900	14	0,078 (6) 0,077
„ „	Samaden	2400	23	0,076 (6) 0,102
Lonicera coerulea	Dahlem b. Berlin		7	0,51
„ „	Innsbr., Talsohle	580	6	0,83
„ „	Samaden	2300	30	0,23 (7) 0,363
Rhamnus pumila	Innsbr., Talsohle	580	10	0,79
„ „	Innsbr., Kalkbod., Felsen	1600	ca. 22	0,18
„ „	Ofenpafshöhe, Kalkboden	1900	23	0,196 (10) 0,26
„ „	Samaden	2200	21	0,12 (10) 0,132
Rhododendron ferrugineum	Dahlem b. Berlin		7	0,74
„ „	Innsbr., Schieferbod., Wald	1900	ca. 18	ca. 0,33 (7) 0,445
„ „	„ „ Humus	1900	ca. 37	ca. 0,16 (7) 0,249
„ „	Samaden	2300	ca. 22	ca. 0,28 (7) 0,275
Rhododendron hirsutum	Dahlem b. Berlin		ca. 15	ca. 0,53
„ „	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1200	22	0,432
„ „	„ „ „	1900	?	? 0,19 (15) 0,25
Ribes alpinum	Dahlem b. Berlin		5	1,5
„ „	Samaden	2000	12	0,31 (5) 0,551
Salix reticulata	Dahlem b. Berlin		3	0,8
„ „	Albula	2400	41	0,104 (3) 0,308
Salix retusa	Dahlem b. Berlin		4	0,625

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren	Mittlere Breite der Jahresringe in mm	
Salix retusa	Churfirsten	2000	55	0,173	(4) 0,192
„ „	Pilatus	2000	44	0,16	(4) 0,138
„ „	Albula	2400	35	0,171	(4) 0,115
„ „	Sano albo	2600	ca. 45	ca. 0,11	
Salix serpyllifolia	Dahlem b. Berlin		8	0,21	(8) 0,172
„ „	Ob. Sesvenna	2100	35	0,157	
Sorbus Chamaemespilus	Dahlem b. Berlin		9	0,92	
„ „	Innsbr., Geröll	1800	35	0,29	(9) 0,132
„ „	Samaden	2100	29	0,16	
Vaccinium Myrtillus	Dahlem b. Berlin		3	0,43	
„ „	Innsbr., Humusanlagerung	1800	14	0,21	(3) 0,21
„ „	Karer Pafs	2100	7	0,19	(3) 0,302
Vaccinium uliginosum	Dahlem b. Berlin			nicht zu ermitteln	
„ „	Innsbr., Kalkbd., Geröll	1900	?	weil Alter	
„ „	Karer Pafs	1900	?	ganz unbestimmbar	
Vaccinium Vitis idaea	Dahlem b. Berlin		5	0,195	
„ „ „	Innsbr., Schieferbod., Wald	1900	9	0,102	(5) 0,136
„ „ „	„ Kalkbod., Humus	1900	14	0,074	(5) 0,119

Tabelle II (Coniferen).

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren	Mittlere Breite des jährl. Zuw. in mm
Pinus silvestris Stamm	Innsbr., Talsohle, Sandboden	580	18	1,31
„ „ Ast	„ „ „	„	23	0,674
„ „ Stamm	Innsbr., Kalkbod., Humus	1200	22	1,74
„ „ Ast	„ „ „	„	50	0,401
„ „ Stamm	Innsbr., Schiefer, Waldbod.	1800	30	0,667
„ „ Ast	„ „ „	„	16	0,750
Pinus montana Ast	Ofenberghaus, Grenze d. Legföhren	2100	32	0,156
„ „	Ob Sesvena	2300	ca. 110	0,291
P. montana var. uncinata starker Ast	Alp Mingèr	2250	34	0,674
„ „ „ uncinata	Vom Engadin, oberste Legföhre	2400	ca. 90	0,278
Pinus Mughus Ast	Alter bot. Garten Berlin		8	0,813

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren	Mittlere Breite des jährl. Zuw. in mm
Pinus Mughus Stamm	Innsbr., Kalkbd, Felswand	1950	53	0,358
„ „ Ast	„ „ „	„	20	0,338
„ „ Stamm	„ „ Waldbd.	1100	16	1,02
„ „ Ast	„ „ „	„	17	0,578
Pinus Cembra Ast	Dahlem b. Berlin		8	0,725
„ „ Stamm	Innsbr., Schiefer, Waldbod.	900	39	0,503
„ „ „	„ „ „	1900	ca. 72	ca. 0,50
„ „ Ast	Karer Pafs	2200	29	0,336
„ „ „	Oberste Arve im Scarltal	2260	ca. 75	0,29
Picea excelsa Ast	Innsbr., Kalkbd., Wald	1900	22	0,568
„ „ „	„ Schiefer „	„	41	0,324
„ „ Stamm	„ „ „	„	17	0,853
„ „ Ast	Sano albo oberstes Exemplar	2100	70	0,107
„ „ „	Karer Pafs	2000	ca. 100	ca. 0,113
Larix europaea Stamm	Innsbr., Schiefer, Waldbd.	1900	22	0,852
„ „ Ast	„ „ „	„	19	0,797
„ „ Stamm	„ Kalkbd., Geröll	„	83	0,361
„ „ Ast	„ „ „	„	87	0,144
„ „ Stamm	Karer Pafs	2150	42	0,362
Juniperus communis Ast	Dahlem b. Berlin		6	1,33
„ „ „	Innsbruck, Talsohle	580	29	0,535
„ „ „	„ Waldboden	1500	22	0,264
Juniperus nana Ast	Dahlem b. Berlin		6	1,1
„ „ „	Innsbr., Kalkbod., Humus	1500	24	0,108
„ „ „	„ „ Geröll	1700	27	0,288
„ „ „	Karer Pafs	2000	36	0,167
„ „ „	Samaden	2300	28	0,314
„ „ „	Berninahospiz	2400	ca. 90	0,172
„ „ Stamm	Sano albo	2600	103	0,204

Den vorstehenden Tabellen möchte ich noch einige Erläuterungen hinzufügen:

Aus den Angaben über den Standort geht hervor, dafs die zur Untersuchung gelangten alpinen Gewächse verschiedener Herkunft waren und mit Holzproben aus dem botanischen Garten zu Dahlem bei Berlin verglichen wurden. Leider befanden sich diese Gartengewächse nicht gerade in sehr vorgerücktem Alter; ich habe deswegen bei einer Zahl von Hochgebirgspflanzen auch noch den mittleren Jahreszuwachs der ersten Ringe berechnet bis zu einem Alter, das demjenigen der zugehörigen Talpflanze entspricht. So bedeutet z. B. bei Rhamnus pumila 2200 m Samaden u. s. w. das Zeichen (10) 0,132,

dafs für diese Pflanze der Mittelwert aus den 10 ersten Jahresringen sich auf 0,132 mm belief. Bei den Gymnospermen habe ich es unterlassen, die mittlere Ringbreite der Talexemplare von Pinus silvestris, Larix und Picea auszuwerten, einmal weil die ungefähre Dickenzunahme dieser Bäume jedem Fachmanne bekannt ist und von vornherein feststeht, dafs sie die hier wiedergegebenen Resultate für die Ringbreite der entsprechenden Hochalpenpflanzen bei weitem übertrifft; dann aber auch deswegen, weil das oben erwähnte, von Gebr. Schlagintweit zusammengetragene Zahlenmaterial, das sich gerade auf Pinus silvestris, Larix und Picea excelsa bezieht, diese Verhältnisse viel besser zur Anschauung bringt als es meine doch relativ wenigen Ausmessungen hätten tun können. Bei den übrigen Coniferen: (Pinus montana, P. Cembra, Juniperus) wurden auch hiesige Kulturexemplare berücksichtigt. — Dem Einwande, dafs es unstatthaft sei, Pflanzen verschiedener Provenienz überhaupt in Vergleich zu ziehen, möchte ich die Tatsache entgegenhalten, dafs, wie aus der Tabelle ersichtlich, alle hier angeführten Pflanzen der Hochregion, welchem Standort sie auch immer entnommen waren, gegenüber ihren Verwandten in der Tiefenlage fast ausnahmslos ein stark reduziertes Dickenwachstum aufwiesen. Solche Unterschiede, wie sie hier zu Tage treten, können unmöglich auf andere Zufälligkeiten allein zurückgeführt werden, hier mufs die Höhenlage mit ihren Wirkungen in erster Reihe eine Rolle spielen. Trotzdem wäre es natürlich ein schwerer Irrtum, wenn man die Veränderungen leugnen wollte, die durch lokale Verschiedenheiten, z. B. durch die Exposition, die Bodenbeschaffenheit, die Richtung und Heftigkeit der Winde, die Nähe von Gletschern u. s. w. in der Ausbildung der Individuen hervorgerufen werden können, ändert sich doch gerade im Gebirge fast mit jedem Schritt die Form des Bodens und schon dadurch allein ein grofser Teil der Lebensbedingungen der Pflanzenwelt durch die Verschiedenheit der Beleuchtung und Erwärmung. Indes können diese rein örtlichen Verhältnisse, die ja zum Teil auch in der Ebene von Bedeutung werden können, an dieser Stelle keine Berücksichtigung beanspruchen; hier kommt es vielmehr ausschliefslich auf diejenigen Ursachen an, welche sich aus den Eigentümlichkeiten der Höhenlage allein ergeben.

Diese Ursachen sind aber hinreichend bekannt, und es wäre überflüssig, sie an dieser Stelle nochmals auseinanderzusetzen. Nach den zahlreichen Beobachtungen über das Dickenwachstum der Hölzer, die wir vor allen Dingen R. Hartig, aber auch anderen verdanken, kann es keinem Zweifel unterliegen, dafs die Gründe, welche die geringe Gröfse des Zuwachses im Gefolge haben, im wesentlichen mit denen übereinstimmen, die dem Pflanzenleben in den Hochregionen überhaupt eine Grenze setzen: Niedrige Temperatur, kurze Vegetationsdauer, geringe Assimilationsenergie, bisweilen allzukräftige Insolation und nicht selten auch Unfähigkeit, von den stets reichlich vorhandenen Wasservorräten die erforderliche Menge aufzunehmen, sind neben anderen, minder wichtigen Momenten die vornehmsten Ursachen jener Erscheinung.

Abgesehen von der geringen Breite der Jahresringe fallen bei der Betrachtung der Querschnitte noch andere Tatsachen auf, die für das Leben dieser Holzpflanzen an den Grenzen der Vegetation durchaus charakteristisch sind. Wenn wir den Querschnitt eines Talexemplares ins Auge fassen, so finden wir stets einige Verschiedenheiten bezüglich der Breite in den einzelnen Jahrringen. Ein Gesetz von allgemeiner Gültigkeit für die Änderung der Ringbreite mit zunehmendem Alter aufzustellen, ist zwar nicht immer gut durchführbar, doch kann man wenigstens soviel behaupten, dafs die Breite

zunächst bis zu einem bestimmten Alter zunimmt, darauf viele Jahre hindurch ziemlich konstant bleibt, um dann in höherem Alter beständig herabzugehen. Diese Regel erleidet freilich auch häufige Ausnahmen. So ist es z. B. bekannt, dafs die sogenannten Samenjahre der Bäume und Sträucher die vegetative Ausbildung ungünstig beeinflussen. Ferner können natürlich auch Beschädigungen der Laubkrone durch Tierfrafs, anormale klimatische Bedingungen, oder zufällig entstehende Beleuchtungs- und Ernährungsänderungen auf die Dicke des Holzzuwachses in entsprechender Weise einwirken.

Ganz anders jedoch stellen sich diese Verhältnisse in der alpinen Pflanze dar. Ringe von 20—30 facher Zelllage neben solchen, in denen ein einziges Gefäfs oder auch 2 Coniferen-Tracheïden die ganze Breite ausmachen; Zuwächse, die wir selbst in dem Holzkörper der Talgewächse zu den mittelstarken zählen würden, neben solchen, die so recht die Dürftigkeit hochalpinen Pflanzenlebens versinnbildlichen! Und diese Schwankungen finden sich, wenn auch nicht immer in so krasser Form, so doch in so häufiger Wiederholung, dafs von einer Regel, die die Verschiedenheit der Dicke aufeinanderfolgender Jahresringe auch nur annäherungsweise zur Anschauung brächte, hier nicht mehr die Rede sein kann. Solche Unregelmäfsigkeiten habe ich bei Rhododendron ferrugineum, bei Sorbus Chamaemespilus, Empetrum nigrum, Azalea procumbens, Betula pubescens, dann aber auch bei Juniperus und Larix nicht selten angetroffen. Betula pubescens, oberh. Samaden, 2100 m z B. zeigte Jahresringe von folgender Breite:

Tabelle III.

Breite in μ[1])		Breite in μ		Breite in μ		Breite in μ	
2. Ring	1100	13. Ring	55	24. Ring	110	35. Ring	651
3. „	1280	14. „	46	25. „	138	36. „	486
4. „	917	15. „	101	26. „	73	37. „	422
5. „	1146	16. „	46	27. „	64	38. „	330
6. „	779	17. „	73	28. „	55	39. „	321
7. „	669	18. „	37	29. „	202	40. „	523
8. „	321	19. „	92	30. „	431	41. „	954
9. „	156	20. „	97	31. „	449	42. „	514
10. „	92	21. „	103	32. „	706		
11. „	37	22. „	367	33. „	403		
12. „	83	23. „	73	34. „	569		

Im Grunde genommen, können uns solche Erscheinungen auch gar nicht überraschen. Die Lebensbedingungen, denen die Talpflanzen unterworfen sind, sind im allgemeinen derartig, dafs die gleichwohl auftretenden Schwankungen der klimatischen Einflüsse doch immer nur verhältnismäfsig geringe graduelle Unterschiede in der Dickenentwickelung der Ringe hervorrufen können. Denken wir uns z. B., dafs in einer Reihe aufeinanderfolgender Vegetationsperioden die eine oder andere sich durch ein geringeres Wärmeausmafs kennzeichnet, so werden wir mit ziemlicher Sicherheit annehmen können,

[1]) 1 μ = 1 : 1000 mm.

dafs dieser Mangel an Wärme sich in der Entwickelung der ganzen Pflanzenwelt wiederspiegelt. Eine in der Ebene stehende Kiefer dürfte z. B. in solchen Jahren weniger Holz bilden als unter ganz normalen Verhältnissen. Aber sehr grofs wird dieser Unterschied nicht sein; denn die Wärme, die der im Tale wachsenden Kiefer selbst in etwas kühleren Sommern geboten wird, reicht immer noch hin, um sie zu einer gehörigen Holzproduktion anzuregen, und die Breite des betreffenden Jahresringes wird nicht gerade sehr weit hinter der Dicke benachbarter Ringe zurückstehen[1]). Ganz anders aber in der Hochregion! Dort vegetieren die Pflanzen selbst in normalen Entwickelungsperioden unter Bedingungen, die schon an der Grenze dessen liegen, was ihnen zur Erhaltung ihres Lebens notwendig ist. Was der Pflanze geboten wird, reicht gerade noch aus, um ihre bescheidenen Ansprüche zu befriedigen; jedes Herabgehen unter dieses Mafs des Notwendigen mufs aber, in dem betreffenden Jahre wenigstens, entweder die Weiterbildung ganz verhindern, oder doch wesentlich einschränken. Wie oft mag es auch in der Tat vorkommen, dafs die alpine Holzpflanze in der ganzen Vegetationsdauer ihren Achsenkörper auch nicht um die Breite einer einzigen Zelle erweitern kann! Darum besteht für sie durchaus noch keine Gefahr des Absterbens; hat man doch schon häufig bei Holzgewächsen der Ebene die Erfahrung gemacht, dafs das Cambium sich Jahre hindurch im Zustande latenter Teilungsfähigkeit erhalten kann, wenn es auch gar nicht, oder doch nicht so reichlich ernährt wird, dafs es zur Zellteilung kommt[2]).

Besonders interessant werden die sehr schmalen Ringe in den Nadelhölzern. In dem normal entwickelten Jahresringe der Coniferen läfst sich bekanntlich das weitlumige Frühholz sehr scharf von dem Spätholz unterscheiden, dessen Tracheïden sich durch starke Verdickung der Membranen und auffällige radiäre Verkürzung auszeichnen[3]). Nimmt nun die Ringbreite bis auf wenige Zelllagen ab, so kann man in den Exemplaren der Höhenlage häufig die Beobachtung machen, dafs die Spättracheïden zwar noch die radiäre Verkürzung, nicht aber die Verstärkung der Membranen aufweisen (Fig. 1). Nicht selten haben dann die letzten Tracheïden des Zuwachses auch noch eine plankonkave oder konvex-konkave Gestalt (Fig. 2), die man sich folgendermafsen entstanden denken kann: Beim Schlufs der Vegetationsperiode haben alle Tracheïden des Verdickungsringes ihr Plasma eingebüfst und den Charakter lebender Zellen verloren. Von nun ab sind sie auf Druck von aufsen nur noch mit dem Widerstand ihrer Zellwände zu antworten imstande. Im nächsten Frühjahr, wenn dem Cambium neue Säfte zugeführt werden, erwacht es aus seiner Winterruhe und beginnt, seine Tätigkeit aufzunehmen. Alsbald entwickelt sich in seinen Zellen ein hydrostatischer Druck, dem die unverdickten Tangentialwände der letzten vorjährigen Tracheïden nur dadurch das Gleichgewicht halten können, dafs sie sich einbiegen und durch die auf solche Weise hervorgerufene Spannung ihrerseits einen gleich grofsen Druck auf das Cambium ausüben. Die nach innen gebogene Wand

---

[1]) Vergl. auch: Nördlinger „Deutsche Forstbotanik“ I. 1874. Büsgen „Bau und Leben unserer Waldbäume“, Jena 1897.

[2]) R. Hartig: „Holzuntersuchungen, Altes und Neues, Berlin, 1901“ ferner „Über den Entwickelungsgang der Fichte im geschlossenen Bestande nach Höhe, Form und Inhalt. Forstl. naturw. Zeitschrift I. 1892.

[3]) Von den Ausnahmen, wie sie sehr häufig bei der Rotholzbildung und bisweilen auch bei Juniperus vorkommen, sehe ich hier ab.

der letzten Herbsttracheïde (in der Figur 3 Zelle 1) erfährt eine bleibende Dehnung und behält ihre neue Lage auch dann noch bei, wenn die Zelle 2 ihren Plasmaschlauch und damit ihren Turgor verloren hat. Es kommt auch vor, dafs, wenigstens an einigen Punkten des Zuwachses, eine Entwickelung von Spättracheïden überhaupt nicht erfolgt; diese Fälle gehören aber zu den selteneren[1]).

Recht häufig hingegen ist die Erscheinung, dafs der Jahresring nur auf einer Seite zur Ausbildung gelangt. Da wir es hier fast ausschliefslich mit schiefstehenden oder horizontalen Ästen und Zweigen zu tun haben, kann uns die einseitige Wachstumsförderung nicht befremden. Sie unterscheidet sich aber von der an Talpflanzen zumeist auftretenden dadurch, dafs auf der unbegünstigten Seite das Cambium in vielen Vegetationsperioden gar nicht zur Zellbildung schreitet, und dafs infolgedessen die Gröfse der Exzentrizität bei den Holzgewächsen der Höhenlage viel bedeutender ist als in den Ästen der Pflanzen unseres Klimas. Die Figur 4 gibt einen Querschnitt von Arctostaphylos uva ursi wieder; man sieht, wie die einzelnen Ringe an der Schmalseite in einander übergehen. Stärker noch als in den Ästen ist die Exzentrizität in den Wurzeln.

An dieser Stelle verdient eine Tatsache Erwähnung, die freilich auch in Ästen von Talpflanzen zu beobachten ist: Die sich von Jahr zu Jahr ändernde Richtung des stärksten Dickenwachstums. Kny[2]) hat in seiner Abhandlung über das Dickenwachstum des Holzkörpers diese Erscheinung auf Drehungen der Äste um ihre eigene Längsachse zurückgeführt und darauf aufmerksam gemacht, dafs im Falle einer solchen Achsendrehung auch die an dem Aste befindlichen Tochterzweige ihre Lage zum Horizont verändern und infolgedessen ebenfalls in ihrem Dickenwachstum in Mitleidenschaft gezogen werden. In derselben Arbeit werden auch die Änderungen in der Richtung des stärksten Dickenwachstums besprochen, soweit sie durch Hebungen und Senkungen von Ästen sowie durch einseitige Krümmungen sich fortentwickelnder Sprofsenden hervorgerufen werden. Später hat dann R. Hartig[3]) an der Fichte gezeigt, dafs in der Tat durch Aufrichten von Ästen infolge geotropischen Reizes verstärktes Wachstum mit Rotholz sich auch auf der morphologischen Oberseite einzustellen pflegt, wo es sonst bei den Nadelhölzern ganz ungewöhnlich ist.

Nach diesen Feststellungen kann es freilich nicht seltsam erscheinen, dafs auch die alpinen Holzgewächse häufig solche Änderungen in der Richtung des stärksten Dickenwachstums aufweisen, und die Erwähnung dieser Tatsache müfste an dieser Stelle als überflüssig angesehen werden, wenn sich nicht im Laufe der Untersuchung herausgestellt hätte, dafs gerade die Holzpflanzen in hochgelegenen Gebieten so reich an solchen Erscheinungen sind. Bei einer grofsen Zahl der von mir geprüften Exemplare blieb die Richtung des stärksten Zuwachses nicht konstant; am schönsten war dies bei Aronia rotundifolia, ferner bei Larix europaea und Picea excelsa zu sehen, deren Querschnitte gezeichnet wurden. (Fig. 5 u. 6.) In der Tat sind ja auch die Ursachen, welche derartige Abweichungen hervorrufen, in dem Charakter der alpinen Pflanze begründet. Der Stamm schmiegt sich dem Boden an; die Seitenzweige, insbesondere die an der Unterseite ent-

---

[1]) Solche Störungen in der Ausbildung können das Abzählen der Jahresringe sehr erschweren.

[2]) L. Kny: „Über das Dickenwachstum des Holzkörpers“. Berlin 1882. p. 36–40.

[3]) R. Hartig: „Holzuntersuchungen, Altes und Neues“. 1901. Berlin.

springenden, müssen deswegen mehrfache Drehungen und Krümmungen vollführen, um eine Lage zu gewinnen, die ihnen einen möglichst grofsen Lichtgenufs verstattet. Dazu kommt noch, dafs sich den kriechenden Zweigen oft unverrückbare Hindernisse in Gestalt von Geröllstücken und Felskanten entgegenstellen, die erst umgangen werden müssen, bevor die ursprüngliche Richtung wieder aufgenommen werden kann. Bei den etwas höheren strauchartigen Formen (Pinus, Picea, Larix) ist auch die Bedeutung nicht zu unterschätzen, die Rauhfrost und Schneedruck für die Ausbildung des fertigen Zustandes haben, indem die oft das ganze Gebüsch belastenden Eiszapfen die Zweige brechen und dadurch geotropische Bewegungen der unversehrt gebliebenen vegetativen Teile veranlassen. Aus dem in Fig. 6 wiedergegebenen Querschnitt eines ca. 70jährigen Astes von Picea excelsa geht z. B. hervor, dafs in den ersten Jahren die durch den Pfeil 1 angegebene Richtung die Richtung nach unten war. Im Laufe der Zeit drehte sich der Ast im umgekehrten Drehungssinne des Uhrzeigers, so dafs in stetiger Aufeinanderfolge die durch die Pfeile 2, 3, 4, 5 und 6 gekennzeichneten Richtungen die stärksten Zuwächse erhielten. Darauf aber fand, wahrscheinlich infolge der soeben beschriebenen Einwirkungen (Bruch infolge von Schnee- oder Eisdruck) ein plötzliches Wenden statt, so dafs in den letzten Jahren die Richtung 7 nach unten zeigte. Dafs in unserem Klima ebenfalls infolge negativ geotropischen Wachstums — insbesondere bei der Fichte — ähnliche Erscheinungen zu Tage treten, ist nicht zu bezweifeln, doch waren dann in bei weitem den meisten Fällen willkürliche menschliche Eingriffe die Veranlassung. Am verbreitetsten sind solche Beschädigungen zu forstlichen und jagdlichen Zwecken; in den Hochregionen der Alpen hingegen können nur klimatische Einflüsse in Frage kommen.

Nicht selten kommt ein ungleichmäfsiges Dickenwachstum dadurch zu stande, dafs das Cambium auf der einen Seite verletzt wird. Dann mufs natürlich auf dieser Seite der Zuwachs aufhören, während die unverletzte Seite ungestört ihr Dickenwachstum fortsetzen kann. Insbesondere werden diejenigen Holzpflanzen von Verletzungen betroffen werden, die auf dem nackten Felsen wachsend, von starken Windstöfsen gegen das harte Gestein gepeitscht werden oder sich zwischen den schmalen Ritzen der Felsen hindurcharbeiten müssen. Auf dem Querschnitt treten dann bedeutende Unregelmäfsigkeiten zu Tage. Die gesunden Teile des Cambiums erhalten nicht nur die ihnen gebührenden Nahrungsstoffe, sondern auch noch diejenigen, welche den abgestorbenen Teilen des Verdickungsringes zugedacht waren. Auf diese Weise wird natürlich die Asymmetrie der Holzablagerung noch erhöht. So erklärte sich die Beschaffenheit des Querschnitts durch ein Stämmchen von Dryas octopetala, das auf Geröll in einer Höhe von 1800 m gewachsen ist. Das Alter dieses Stämmchens zu bestimmen, war nicht möglich, weil die innersten Jahresringe fehlten; wahrscheinlich wurden sie durch beständige Reibung an dem steinigen Substrat entfernt. Wiewohl noch über 30 Ringlagen sichtbar waren, hatte das Stämmchen an der breitesten Stelle doch nur einen Durchmesser von 4,5 mm. Ähnlich verhielt es sich u. a. mit einem mindestens 35jährigen Stämmchen von Azalea procumbens, (Oberhalb Samaden 2400 m); die mittlere Breite seines jährlichen Zuwachses betrug 0,07 mm; die innersten Jahresringe waren auch hier nicht mehr zu sehen.

Haben wir bisher im allgemeinen die quantitative Entwickelung des Jahresringes betrachtet, so soll uns nun die Beschaffenheit des Holzgewebes, d. h. vorzüglich die qualitative Ausbildung des Jahresringes beschäftigen. Demgemäfs haben wir uns jetzt die

Frage vorzulegen: Zeigt die Ausbildung der Gewebesysteme alpiner Hölzer Merkmale, auf Grund deren man sie als Gewächse der Hochregion erkennen und von den im Tale lebenden Pflanzen unterscheiden kann?

Es ist bekannt, dafs der Pflanzenkörper nicht weniger als der tierische Organismus imstande ist, auf äufsere Einflüsse in entsprechender Weise zu reagieren, derart, dafs diejenigen Organe, welche durch veränderte Lebensweise des Individuums gröfseren Ansprüchen zu genügen haben als bisher, eine bessere Ausbildung erfahren auf Kosten derjenigen Teile, welche ihre Bedeutung eingebüfst oder auch nur bis zu einem gewissen Grade verloren haben. Ob die „Anpassungsfähigkeit“ bei der Entstehung der Arten mitwirkt, ist freilich eine andere Frage, die von vielen verneint wird, weil die durch äufsere Zufälligkeiten in der Pflanze hervorgerufenen Abänderungen sich nicht sicher als erblich erwiesen haben. Gröfsere Wahrscheinlichkeit wird hingegen der „Zuchtwahltheorie“ Darwins beigemessen, deren Wesen in kurzen Worten darin besteht, dafs nur solche Formen sich erhalten und fortpflanzen können, deren innere Organisation den veränderten Lebensbedingungen entspricht, während die anderen Formen im Laufe der Zeit das Feld räumen müssen. Welchen Standpunkt man nun auch einnehmen mag, man wird jedenfalls erwarten dürfen, dafs die alpinen Holzgewächse ihre Herkunft durch gewisse Merkmale verraten werden. — Dafs sie ihren Verwandten der Ebene gegenüber einen durchaus veränderten äufseren Habitus zeigen, lehrt ja schon der blofse Augenschein; dafs die Gewebeverteilung der Blätter gewisse spezifische Eigentümlichkeiten aufweist, wird in der oben angeführten Literatur hervorgehoben; die Frage, ob auch im anatomischen Bau der Stammglieder Hinweise auf die Heimat dieser Pflanzen vorhanden sind, ist also jedenfalls berechtigt.

Von grofser Wichtigkeit erscheint die Entwickelung der Wasserbahnen. Es ist viel darüber gestritten worden, ob die Pflanzen in den Höhenlagen einer verstärkten Transpiration ausgesetzt sind. Während man bei einigen Arten an den Blättern Vorrichtungen antraf, die ganz sicher einen Schutz gegen zu starke Verdunstung darstellten, waren wiederum andere Arten ganz frei von solchen Merkmalen, so dafs man hieraus glaubte schliefsen zu dürfen, dafs die in der Hochregion lebenden Gewächse keiner stärkeren Verdunstung unterliegen als die Pflanzen unseres Klimas[1]). Bestärkt wurde man in dieser Auffassung noch durch die Tatsache, dafs die relative Feuchtigkeit der Luft, und damit die Niederschlagsmenge mit zunehmender Höhe — in den Alpen etwa bis 2100 m — wächst, um erst dann, freilich ziemlich schnell zu fallen. Dem gegenüber ist zunächst hervorzuheben, dafs eine grofse Zahl von Spezies an ihren Blättern Einrichtungen zeigen, die ganz entschieden als Abwehrmittel gegen eine überstarke Verdunstung anzusprechen sind. Dann aber lassen sich noch andere Gründe gegen obige Annahme geltend machen: Es ist häufig darauf hingewiesen worden, dafs das alpine Klima überreich ist an Extremen. Hann sagt in seiner Klimatologie[2]): „Das Charakteristische der Feuchtigkeitsverhältnisse gröfserer Gebirgshöhen ist der rasche Wechsel und die gröfseren Extreme desselben. Volle Sättigung der Luft mit Wasserdampf, auf dem Boden aufliegende Wolken, wechseln häufig mit grofser Trockenheit“. Aufserdem macht Hann noch

[1]) Vergl. Leist, Wagner, a. a. O.
[2]) Stuttgart 1897. 1. Bd. p. 282.

darauf aufmerksam, dafs die Gröfse der Verdunstung nicht allein nach der Feuchtigkeit zu beurteilen ist. „Bei derselben relativen Feuchtigkeit, Temperatur und Windstärke ist auf den Höhen der Gebirge die Verdunstung viel stärker als in der Niederung infolge des verminderten Luftdrucks. Es trocknet alles viel rascher in grofsen Höhen, getötete oder gefallene Tiere mumifizieren, ohne zu faulen (schon im unteren Engadin, 14—1600 m, ist luftgetrocknetes Fleisch landesübliche Speise), der Schweifs verdunstet rasch, die Haut ist trocken und spröde, das Durstgefühl wird gesteigert. Die „Evaporationskraft" des Hochgebirgsklimas darf deshalb nicht nach der relativen Feuchtigkeit allein beurteilt werden, der verminderte Luftdruck ermöglicht eine viel raschere Verbreitung der gebildeten Wasserdämpfe, also eine Beschleunigung der Verdunstung"[1]).

Aus diesen Worten geht unzweifelhaft hervor, dafs wir in der Tat mit einer grofsen Transpiration in den Höhen zu rechnen haben, denn zugegeben selbst, dafs während der meisten Tagesstunden die relative Feuchtigkeit auf den Bergen gröfser sei als in der Niederung, so werden die tief herabsteigenden Feuchtigkeitsminima, selbst wenn sie nur wenige Stunden dauern sollten, im Verein mit starken Winden und dem geringen Luftdruck doch imstande sein, die Pflanze zu töten, wenn sie nicht ihrer ganzen Organisation nach auf derartige Fälle vorbereitet ist.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, war nun in vorliegender Arbeit auch die Ausbildung des Wasserleitungsgewebes in den Stammteilen der alpinen Holzpflanzen zu prüfen. Am besten und einfachsten gestaltet sich die Untersuchung auf Querschnitten, die denn auch von jeder als Material vorliegenden Pflanze an verschiedenen Stellen des Stammes ausgeführt wurden. Um nun die Mengenverhältnisse der Gewebe zu bestimmen, wurden nach dem von Gescheidlen[2]) angegebenen Verfahren Querschnitte von genau bestimmter Gröfse vermittels des Zeichenprismas auf Kartonpapier entworfen; die wasserleitenden Gefäfse und Tracheïden wurden darauf eingezeichnet und alsdann mit einem scharfen Skalpel ausgeschnitten. Aus dem Gewicht der ausgeschnittenen Papiermenge und dem des ganzen Querschnittes liefs sich dann leicht der prozentuale Anteil des Wasserleitungsgewebes bestimmen. Mit Rücksicht darauf, dafs in sommergrünen Gewächsen der Anteil der Leitungsbahnen mit zunehmendem Alter wächst, wurden bei diesen, wo es möglich war, nur entsprechende Jahresringe verglichen. Bei den immergrünen Hölzern hingegen und den laubabwerfenden Vaccinien, die sich durch eine ziemlich gleichmäfsige Verteilung der Gewebe auf dem ganzen Querschnitt auszeichnen, wurden zunächst mit dem Mikroskop Stellen aufgesucht, die einen Durchnittswert des Anteils an Gefäfsen und Tracheïden zu haben schienen; der aus ihnen gefundene Betrag wurde als „Durchschnittswert" in die Tabelle eingetragen.

[1]) Hann, a. a. O. Bd. 1. S. 283.
[2]) Gscheidlen: „Physiologische Methodik". Braunschweig 1876.

Tabelle IV.

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren		Anteil der Gefäfse u. Tracheïd. in %
a) Salix retusa	Dahlem		4	2. Jahresring	31,6
„ „	„		„	3. „	32,7
„ „	Tomlishorn am Pilatus	2000	44	2.—3. „	40,9
„ „	„ „	„	„	9. „	53,2
„ „	Hinterrück (Churfirst.)	2000	55	Durchschnittsw.	42,9
„ „	Albula	2400	35	2.—3. Ring	37,5
„ „	„	„	„	letzte Jahresringe	55,3
„ „	Sano albo (sonnig)	2600	? 45	„ „	45,9
„ „	„ „ „	„	„	10. Jahresring	48,1
Salix serpyllifolia	Dahlem		8	2.—5. „	28,7
„ „	Ob Sesveña	2160	37	2.—5. „	36,8
„ „	„ „	„	„	25.—30. „	60,2
Salix reticulata	Dahlem		3	2.—5. „	20,4
„ „	Albula	2300	41	3. „	22,6
„ „	„	„	„	Durchschnittsw.	35,6
Salix Lapponum	Dahlem		3	2.—3. Ring	16,4
„ „	Albula	2300	54	Durchschnittsw.	41,9
Rhamnus pumila	Innsbr., Talsohle, Kultur	580	10	2. Jahresring	3,7
„ „	„ „ „	„	„	5.—6. „	15,7
„ „	„ „ „	„	„	9.—10. „	17,5
„ „	Innsbr., Kalkboden	1600	ca. 23	Durchschnittsw.	11,1
„ „	Ofenpafshöhe, Kalk	1900	23	2. Ring	10,6
„ „	„ „	„	„	10.—13. „	18,5
„ „	Samaden	2200	ca. 21	2. Ring	8,4
„ „	„	„	„	18.—20. „	21,4
Ribes alpinum	Dahlem		5	2. „	10,1
„ „	„		„	3. „	12,1
„ „	„		„	4. „	9,3
„ „	Samaden	2000	14	2. „	15,5
„ „	„	„	„	3.—4. „	15,9
„ „	„	„	„	letzte Ringe	19,8
Sorbus Chamaemespilus	Dahlem		9	2.—3. Ring	17,9
„ „	Innsbr., Kalk, Geröll	1800	35	2.—3. „	23,2
„ „	„ „ „	„	„	letzte Ringe	26,7
„ „	Samaden	2100	29	Durchschnittsw.	23,5
Lonicera coerulea	Dahlem		7	„	9,1
„ „	Innsbr., Talsohle, Kultur	580	6	„	9,7

Name der Pflanze	Standort	Höhe in m	Alter in Jahren		Anteil der Gefäfse u. Tracheïd. in %
Lonicera coerulea	Samaden	2300	30	2.—7. Ring	15,6
„ „	„	„	„	gröfst. beob. Wert	30,4
Aronia rotundifolia	Dahlem		3	Durchschnittsw.	9,2
„ „	Innsbr., Talsohle	580	ca. 12	„	10,9
„ „	Innsbr., Kalk, Felsen	1400	25	„	11,7
Arctostaphyl. alpina	„ „ „	1900	ca. 45	„	26,2
„ „	Samaden	2300	ca. 28	„	29,3
b) Vaccinium Myrtillus	Dahlem		3	„	16,2
„ „	Innsbr., Kalk, Humus	1800	14	„	18,7
„ „	Karer Pafs	2100	7	„	21,0
Vaccinium uliginosum	Dahlem		?	„	39,0
„ „	Innsbr., Kalk, Geröll	1900	?	„	40,8
„ „	Karer Pafs	2100	?	„	37,2
Rhododendron hirsutum	Dahlem		ca. 15	„	27,5
„ „	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1200	22	„	33,7
„ „	„ „ „	1900	7	„	32,8
Rhododend. ferrugineum	Dahlem		?	„	27,9
„ „	Innsbr., Kalkbod., Humus	1900	? 37	„	24,6
„ „	Innsbr., Schieferb., Wald	„	? 18	„	30,9
„ „	Samaden	2300	? 22	„	24,0
Arctostaphyl. uva ursi	Innsbr., Kalkbod., Geröll	1300	13	„	20,3
„ „ „	Karer Pafs	1900	23	„	23,5
„ „ „	Samaden	2000	29	„	22,1
Azalea procumbens	Dahlem		8	„	30,7
„ „	Innsbr., Kalkbod., Felsen	1900	? 14	„	35,1
„ „	Samaden	2400	? mind. 35	„	32,3
Empetrum nigrum	Dahlem		6	5. Ring	31,1
„ „	Innsbr., Kalkbod., Felsen	1900	14	Jahresringe nicht scharf abgegrenzt	geringer als im vorigen
„ „	Samaden	2400	23	5.—6. Ring	19,8
„ „	„	„	„	gröfst. beob. Wert	31,4
Vaccinium Vitis idaea	Dahlem		5	Durchschnittsw.	27,1
„ „ „	Innsbr., Kalkbod., Humus	1900	14	„	26,2
„ „ „	Innsbr., Schiefer, Wald	„	9	„	25,6
Calluna vulgaris	Dahlem		7	„	17,2
„ „	Innsbr., Kalkbod., Wald	1400	7	„	21,2
„ „	Innsbr., Schiefer, Wald	1750	9	„	18,9
„ „	Karer Pafs	2000	7	„	24,5

Von einigen Weidenarten, ferner von Arctostaphylos, Empetrum und Calluna suchte ich den prozentualen Anteil der Wasserleitungsbahnen in den Wurzeln ebenfalls festzustellen; die Werte fielen ausnahmslos, selbst für die ersten Jahresringe sehr hoch aus. Mit Rücksicht auf die physiologische Aufgabe der Wurzel ist dieses Resultat sehr erklärlich. Da mir aber in der Ebene gewachsenes Vergleichsmaterial nicht zur Verfügung stand, unterlasse ich es, Zahlen anzugeben.

Auf den ersten Blick scheint es recht schwer, ein Gesetz aus den in der Tafel angegebenen Resultaten abzuleiten. Vergleichen wir die Holzstruktur einer alpinen Weidenart mit der einer in der Ebene kultivierten gleichen Spezies, so fällt uns sofort die mächtige Entwickelung des Leitungsgewebes im Holzkörper der Alpenweide auf. Das Libriform erscheint in den meisten Jahresringen stark reduziert, aber die grofse Zahl an Gefäfsen und gefäfsähnlichen Tracheïden legt ein untrügliches Zeugnis davon ab, dafs die Pflanze mehr noch als das Exemplar in der Ebene auf einen starken Wasserstrom im Innern vorbereitet ist. Ähnlich verhalten sich die dem Hochgebirge entstammenden Zweige von Rhamnus pumila, Ribes alpinum u. a. Untersuchen wir hingegen Zweige einer Vaccinium-Art oder von Empetrum nigrum, so werden wir einen auffälligen Unterschied in der Ausbildung der Leitungsbahnen nicht wahrzunehmen vermögen, so dafs wir mit Recht behaupten können, dafs diese Pflanzen auch in den Höhenlagen keinen stärkeren Wasserstrom führen als in der Ebene.

Indessen glaube ich, dafs gerade dieser scheinbare Widerspruch ein Beweis ist für die Richtigkeit der Annahme, dafs die Pflanzenwelt in den Höhen gröfseren Transpirationsansprüchen gewachsen sein mufs als in den Niederungen. Die alpinen Weiden und mit ihnen die Mehrzahl der laubabwerfenden Holzgewächse zeigen an den Blättern keine Schutzvorrichtungen gegen die Verdunstung. Wenn sie also trotz des starken Wasserverlustes nicht welken und absterben sollen, so müssen sie fortwährend mit neuen Wassermengen gespeist werden. Hierzu ist ein gut ausgebildetes Leitungsgewebe und ein feuchter Standort erforderlich. Sind aber diese beiden Bedingungen erfüllt, so ist nicht einzusehen, weshalb die Pflanze nicht auch ohne Transpirationsschutz auf hohen Standorten gedeihen soll. In einer Hinsicht sind die sommergrünnen Holzpflanzen im Hochgebirge den wintergrünen gegenüber sogar in entschiedenem Vorteil, indem bei ihnen die zur Zeit der Schneeschmelze eintretende Austrocknungsgefahr überhaupt nicht vorliegt. In der Tat finden sich die sommergrünen Holzgewächse der Höhen ausschliefslich auf feuchtem Boden: in schattigen moosigen Wäldern, an den Ufern der Bäche, auf gut bewässerten Triften, oder in den Ritzen der Felsen und zwischen Geröllstücken, wo eine reiche Humusschicht grofse Mengen der sommerlichen Niederschläge und des Schmelzwassers der winterlichen Schneedecke zurückhält. Hier gedeihen die alpinen Weiden, an deren Blättern sich mit Ausnahme von Salix retusa und Salix reticulata kein Schutz gegen Transpirationsgefahr nachweisen läfst. Auch die beiden eben genannten Weidenarten zeigen nur schwache Schutzvorrichtungen. So ist bei Salix retusa Verschleimung der Innenmenbranen einiger Epidermiszellen beobachtet worden[1]), während die harten, netzadrigen Blätter von Salix reticulata einigermafsen an den Rollblatttypus erinnern[2]).

---

[1]) v. Lazniewsky, a. a. O.

[2]) Kerner v. Marilaun, Pflanzenleben I. 2. Aufl. S. 285.

Ähnlich verhalten sich die durchaus hygrophil gebauten Arctostaphylos alpina, Lonicera coerulea, Rhamnus pumila, Rosa alpina u. a. Sie alle entbehren, obwohl einer starken Verdunstung ausgesetzt, besonderer Vorkehrungen gegen das Überhandnehmen der Transpiration; sie sind deswegen durch ein gut ausgebildetes Wasserleitungssystem der Holzteile ausgezeichnet. S. Tabelle IVa.

Eine entschieden abweichende Stellung nehmen dagegen die wintergrünen Holzpflanzen ein, die stets eine ausgesprochene Tendenz zur Xerophilie der Blätter aufweisen. Solche Gewächse zeigen in ihrer Achsenstruktur nicht das geringste Bestreben, den Wasserbahnen einen erhöhten Anteil an der Holzmasse zu gewähren. Genau dasselbe Verhalten finden wir auch bei den sommergrünen Arten von Vaccinium, nämlich V. Myrtillus und V. uliginosum. Diese beiden Pflanzen entbehren der Vorkehrungen gegen Austrocknungsgefahr und lassen trotzdem im Stammquerschnitt die Bevorzugung der Wasserleitungsbahnen vermissen, die man in anderen sommergrünen Gewächsen beobachten kann. Es hängt das wohl sicher mit ihrem Standort zusammen, der von vornherein eine allzuhohe Verdunstung als ausgeschlossen erscheinen läfst. Beide leben in den feuchten Hochmooren unter der schützenden Decke des dichten Gebüschs der Legföhre oder anderer Krummhölzer. Seltener finden sie sich auf unbewaldetem, flachem Humus, dann aber jedenfalls im Schatten eines vorspringenden Felsens. Niemals also dürften diese Pflanzen einer wirklichen Austrocknungsgefahr ausgesetzt sein. — Anders hingegen verhält es sich mit den immergrünen Arten; sie werden nicht durch ihren Standort vor Austrocknung geschützt, sondern durch ihre Blätter. An diese werden zur Zeit der Schneeschmelze schon hohe Anforderungen hinsichtlich der Transpiration gestellt. Da jedoch um diese Zeit der Boden noch kalt ist, und die Saugzellen der Wurzeln noch nicht die erforderliche Aufnahmefähigkeit besitzen, so müfsten die Pflanzen welken, wenn sie nicht durch die derbe Cuticula einen hinreichenden Schutz gegen zu starke Verdunstung erhielten. Die in der Xerophilie des Blattes liegende wirksame Abwehr einer übermäfsigen Transpiration macht natürlich eine bessere Ausbildung der wasserführenden Bahnen ganz unnötig. So ist es z. B. bei Dryas octopetala. Die überaus unregelmäfsige Entwicklung der Querschnitts dieser Rosacee machte mir die Angabe bestimmter Zahlen unmöglich, doch war bei keinem untersuchten Exemplar der Höhenlage eine bessere Ausbildung des Leitungssystems zu bemerken, als in den im Tale kultivierten Vertreterinnen dieser Art. Die Lebensweise[1]) von Dryas und ihr Blattbau erklären eben diese Tatsache zur Genüge. Eine ähnliche Beschaffenheit der Blätter zeigen die Rhododendron-Arten, deren Vorkommen sich zumeist auf die steileren Abhänge und Lehnen des Gebirges beschränkt. Solche Standorte erfahren freilich infolge des niedergehenden Schmelzwassers eine reichliche Durchtränkung des Bodens; andererseits werden fortwährend erdige Bestandteile der Oberfläche weggeschwemmt, so dafs nur Pflanzen mit tiefgehenden Wurzeln an ihnen gedeihen können. Auch die Rhododendren sind mit einem gut verzweigten Wurzelsystem ausgestattet, das die Pflanzen aber, trotz der dadurch erzielten besseren Wasserversorgung, nicht in die Lage setzt, an ungeschützten Stellen auf besondere Schutzvorrichtungen verzichten zu können. In Übereinstimmung damit finden wir auch bei einem Vergleiche von Höhen- und Talexemplaren in der Achsenstruktur der ersteren keine nennenswerte Ver-

[1]) Vergl. Kerner v. Marilaun „Pflanzenleben“ I. S. 286, 287.

änderung zu Gunsten der Gefäfse und Tracheïden. — Bei der gewöhnlichen Bärentraube (Arctostaphylos uva ursi) ist im Gegensatz zu der Alpenbärentraube (Arctostaphylos alpina) die Cuticula mächtig entwickelt[1]), ebenso bei Vaccinium Vitis idaea, das aufserdem auf der Blattoberseite einen deutlichen Wachsüberzug trägt. Häufig tritt noch ein weiterer Transpirationsschutz hinzu in der Verschleimung der Epidermiszellen; so bei Daphne striata, Erica carnea, Calluna vulgaris, Azalea procumbens und Empetrum nigrum. Die Bedeutung der Schleimablagerungen als Schutzmittel gegen eine zu rasche Wasserabgabe wurde zuerst von Radlkofer[2]) erkannt und später von Volkens, Wagner und von Lazniewski bestätigt. Den höchsten Grad des Transpirationsschutzes weisen aber die immergrünen Blätter von Empetrum nigrum und Azalea procumbens auf. Diese Arten zeichnen sich nämlich nicht nur durch die bisher erwähnten Einrichtungen zur Reduktion der Wasserabgabe aus, sondern es kommt bei ihnen noch eine eigentümliche Rollung des Blattes hinzu, derart, dafs die mit starker Epidermis versehene und der Spaltöffnungen entbehrende Oberseite allein der Verdunstung ausgesetzt, die Unterseite hingegen den äufseren Einflüssen fast gänzlich entzogen ist. Oft trägt die Unterseite noch schützende Haare (Azalea), wodurch die sich ausschliefslich in der Höhlung der Unterseite befindenden Spaltöffnungen noch eines besonderen Schutzes teilhaftig werden. Übrigens liegt bei diesen beiden Pflanzen, desgleichen auch bei Calluna vulgaris und Erica carnea schon in der nadelartigen Form der Blätter eine nicht zu unterschätzende Abwehrmafsregel gegen die Gefahr einer zu starken Austrocknung.

Dafs alle diese Gewächse der hier beschriebenen Einrichtungen bedürfen, ist in Hinsicht auf ihren Standort natürlich. Eine nähere Besprechung ihrer Lebensweise darf an dieser Stelle unterbleiben, und es mag daher auf die einschlägige Literatur[3]) verwiesen werden; wir können uns hier mit der Feststellung des Vorhandenseins solcher Schutzeinrichtungen in den Blättern begnügen. Da durch sie aber jede weitere Mafsnahme zur Regulierung der Transpiration überflüssig gemacht wird, konnte von vornherein in der Entwickelung des Wasserleitungsgewebes wintergrüner Holzpflanzen kein wesentlicher Unterschied zwischen den Exemplaren der Höhen und denen der Niederung erwartet werden. Die Tabelle IVb zeigt, dafs die Untersuchung diese Vermutung vollständig bestätigt hat.

Dafs die angegebenen Zahlen keine absolute Bedeutung beanspruchen können, ist aus verschiedenen Gründen ganz selbstverständlich. Darin liegt aber auch gar nicht ihr Zweck; es soll vielmehr nur ein Überblick gewonnen, ein Gesamtbild der in Frage stehenden Verhältnisse skizziert werden. Und diese Aufgabe scheinen sie mir wenigstens einigermafsen zu erfüllen.

Es wäre nun noch möglich, dafs vielleicht in dem Lumen der Gefäfse sich Unterschiede zwischen den Höhen- und Tiefenexemplaren nachweisen liefsen. Mit Rücksicht auf die sicher stärkere Verdunstung in der Gebirgsregion wäre von vornherein eine Gefäfserweiterung in der alpinen Pflanze nicht ausgeschlossen. Die Messungen, die ich zur Beantwortung dieser Frage angestellt habe, führten jedoch zu einem negativen Ergebnis. Bei einigen Individuen von Rhodod. ferrug. Rhamnus pumila, Vacc. Vitis idaea,

---

[1]) Solereder „Systematische Anatomie der Dicotyledonen“, S. 542.

[2]) Radlkofer, Monographie der Gattung Serjania, 1875.

[3]) Kerner v. Marilaun, a. a. O. Christ, Pflanzenleben der Schweiz. Zürich 1879.

Vacc. ulig. u. a. traf ich allerdings schon oft in den ersten Jahresringen so grofslumige Gefäfse an, wie man sie in Exemplaren der Ebene erst im mittleren oder höheren Alter der Pflanze zu finden gewohnt ist. Da jedoch diese Erscheinung nur hin und wieder, keineswegs aber in allen Holzproben derselben Species auftrat, so ist ihr, glaube ich, keine allzugrofse Bedeutung beizumessen. Die tatsächlich festgestellte Zunahme des Anteils an Leitungsgewebe im Holzkörper vieler sommergrüner Laubgewächse ist also nur der Verschmälerung des Jahresringes zuzuschreiben. Für die immergrünen Arten und die laubabwerfenden Vaccinieen kann das blofse Schmälerwerden des Jahresringes keine wesentliche Zunahme an Leitungsgewebe zur Folge haben, weil in diesen Hölzern die Gefäfse und Tracheïden bekanntlich fast gleichmäfsig über den Querschnitt verbreitet sind.

Nicht ganz belanglos scheint mir die Tatsache, dafs, abgesehen von den Rhamnus- und Salix-Arten, alle Holzgewächse, welche bis in die alpine Region hinaufsteigen, behöft getüpfeltes Libriform besitzen. Arctostaphylos und Ribes haben neben hofgetüpfeltem Libriform auch solches mit einfachen Tüpfeln, bei den übrigen hingegen kommt ausschliefslich behöft getüpfeltes Libriform vor. Es mag sein, dafs die Holzfasern die eigentlichen Wasserleitungsorgane nötigenfalls zu unterstützen haben.

Zu den mit starkem Transpirationsschutze ausgerüsteten Pflanzenformen gehören auch die Coniferen, deren Blätter wegen ihrer im Verhältnis zum Inhalt geringen Oberfläche keine grofse Verdunstungsfähigkeit besitzen. Selbst die Lärche, deren weiche und einjährige Nadeln verhältnismäfsig viel Wasser abgeben, kann im Vergleich zu den Laubbäumen grofse Trockenheit vertragen. Trotzdem werden wir bei ihr eine ähnliche Besserstellung hinsichtlich der Wasserleitungsbahnen erwarten dürfen, gegenüber den anderen Coniferen, deren lederartige, immergrüne, mit eingesenkten Spaltöffnungen versehene Blätter mit denen der Lärche zwar die Form gemeinsam haben, im übrigen aber einen wirksamen Schutz gegen übergrofse Verdunstung gewähren. Als Leitungsgewebe kommen bei den Nadelhölzern nur Tracheïden in Betracht, welche die Grundmasse des Holzes bilden. Durch Vergleich des Lärchenholzes mit dem Holze auf gleichem Boden gewachsener alpiner Fichten findet man nun, dafs die Tracheïden der ersteren stets ein weiteres Lumen besitzen, so dafs also sich unsere Vermutung auch für die Coniferen bestätigt.

In sehr vielen Fällen zeigt das Holz der Coniferen eine auffällige Reduktion des Spätholzteiles, und nicht selten sind die Zellwände desselben auch nur mangelhaft verdickt[1]). Am besten ist dieses Verhalten an den liegenden Ästen der Krummholzkiefer (Pinus montana, var. uncinata, Fig. 7) und oft auch an der gemeinen Kiefer (P. silvestris) zu beobachten. Ob die fehlende Verdickung zur Transpiration in Beziehung steht, etwa indem dadurch die Zellräume erweitert würden, oder ob sie nur die Folge mangelhafter Ernährung ist, wage ich nicht zu entscheiden; doch will ich bemerken, dafs ich auch in ziemlich breiten Jahresringen, die sicher nicht bei schlechter Ernährung entstanden sind, dieselbe Beobachtung gemacht habe, und dafs die Erweiterung der Tracheïdenräume im normal gebauten Holz doch nur eine Compensation wäre für die an liegenden Ästen häufig auftretende reichliche Rotholzbildung und die damit im Zusammenhang stehende wesentliche Einschränkung der Leitfähigkeit. Andere Merkmale, aus welchen auf einen erhöhten Wasserstrom im Coniferenholze geschlossen werden könnte, habe ich nicht festzustellen vermocht. Die Hoftüpfel waren weder zahlreicher noch gröfser, und wenn in

[1]) Ich habe hier nur das normal entwickelte Holz im Gegensatz zum Rotholz im Auge.

einer von Zdarek[1]) vor kurzem veröffentlichten Arbeit den Fichten der Höhenlage ein gröfserer Tüpfelreichtum zugeschrieben und die Anzahl der Tüpfel geradezu als anatomisches Unterscheidungsmerkmal dafür angegeben wird, ob der Baum in der Hoch- oder Tiefenlage gewachsen ist, so kann ich demgegenüber mit Bestimmtheit feststellen, dafs in den von mir untersuchten Exemplaren der Tüpfelreichtum keineswegs gröfser war als in den Fichten der Ebene. Allgemeine Gültigkeit kommt also dem Zdarekschen Befunde nicht zu.

Zusammenfassung.

1. Die Jahresringbreite war bei allen untersuchten Holzpflanzen der Höhenregion viel geringer als bei den Tieflandsexemplaren derselben Art.
2. In der Breite des jährlichen Zuwachses herrscht grofse Regellosigkeit.
3. Es treten oft Störungen in der Ausbildung der Ringe ein:
   a) durch einseitige Entwickelung des Zuwachses,
   b) durch anormale Ausbildung oder vollständige Unterdrückung der Spättracheïden im Coniferenholz,
   c) durch Verletzungen des Cambiums.
4. Die Exzentrizität in den Ästen alpiner Holzgewächse ist im allgemeinen recht bedeutend.
5. Die Richtung des stärksten Zuwachses ist in vielen Fällen veränderlich.
6. Die starke Verdunstung in den Höhen verlangt in denjenigen Holzpflanzen, welche weder durch ihren Standort noch durch die xerophile Struktur der Blätter gegen Austrocknung geschützt sind, eine bessere Ausbildung des Wasserleitungssystems im Holzkörper.
7. Bei den Dicotyledonen wird der höhere Anteil an Leitungsgewebe vorwiegend durch die Verschmälerung des Jahresringes erreicht.
8. Im Holz der Coniferen zeigt sich häufig eine nennenswerte Reduktion des Spätholzteiles.
9. Sonstige anatomische Merkmale, aus welchen auf eine bessere Ausnutzung der kurzen Vegetationsperiode geschlossen werden könnte, haben sich nicht ergeben.

Schliefslich ist es mir ein Bedürfnis, in erster Reihe Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Kny meinen innigsten Dank auszusprechen nicht nur für die Anregung zu dieser Arbeit und das in so hohem Mafse bekundete Interesse, sondern auch für seine Bemühungen, mich mit geeignetem Untersuchungsmaterial zu versehen. Auch denjenigen Herren, die infolge der Verwendungen des Herrn Geh. Rat Kny mich durch Übersendung von Holzproben in der liebenswürdigsten Weise unterstützt haben, gebührt mein aufrichtiger Dank. Es sind dies die Herren Oberforstinspektor Dr. Coaz — Samaden, Prof. Dr. Magnus-Berlin, Prof. Dr. Schröter-Zürich, Dr. Wagner-Innsbruck. Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Engler bin ich für die Erlaubnis, dem botanischen Garten zu Dahlem b. Berlin das notwendige Vergleichsmaterial zu entnehmen, gleichfalls zu Dank verpflichtet.

[1]) Robert Zdarek, Hoftüpfel des Fichten- und Lärchenholzes. Österr. Forst- und Jagdzeitung. Wien No. 21. p. 185. Ref. im Bot. Centralbl. 1903. Heft 32. p. 130.

Lebenslauf.

Ich, Markus Rosenthal, mosaischer Religion, bin in Rawitsch, Provinz Posen, am 29. Oktober 1874 als Sohn des Kaufmanns Moritz Rosenthal geboren, besuchte das Königliche Realgymnasium meiner Vaterstadt und verliefs dasselbe Ostern 1893 mit dem Zeugnis der Reife. Hierauf widmete ich mich an der Universität Berlin philosophischen, mathematischen und naturwissenschaftlichen Studien und bestand im Jahre 1899 das Examen pro facultate docendi. Am Königstädtischen Realgymnasium legte ich mein Seminarjahr, am Königlichen Kaiser Wilhelms-Realgymnasium mein Probejahr ab. Nach halbjähriger Tätigkeit als wissenschaftlicher Hilfslehrer am Königstädtischen Gymnasium und Realgymnasium wurde ich vom Magistrat der Stadt Berlin zum Oberlehrer gewählt und der I. Realschule überwiesen. (Ostern 1902). An dieser Anstalt bin ich auch zur Zeit tätig. Die Promotionsprüfung bestand ich am 29. Februar 1904.

Bei folgenden Herren Professoren und Dozenten habe ich Vorlesungen und Kurse besucht: Dilthey, E. Fischer, Frobenius, Fuchs (†), Gabriel, Glan (†), Hettner, C. Klein, Knoblauch, Kny, Kolkwitz, Kundt (†), Landolt, Paulsen, Planck, v. Richthofen, Schwarz, Schwendener, Sell (†), Stumpf, Warburg, Wien.

Allen diesen Herren bin ich stets zu Dank verpflichtet.

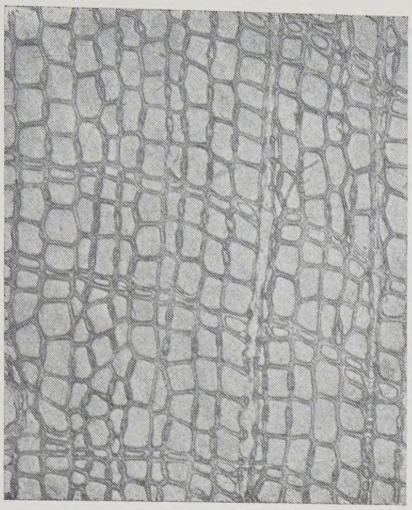

Fig. 1. Pinus silvestris
oberh. Samaden 2000 m.

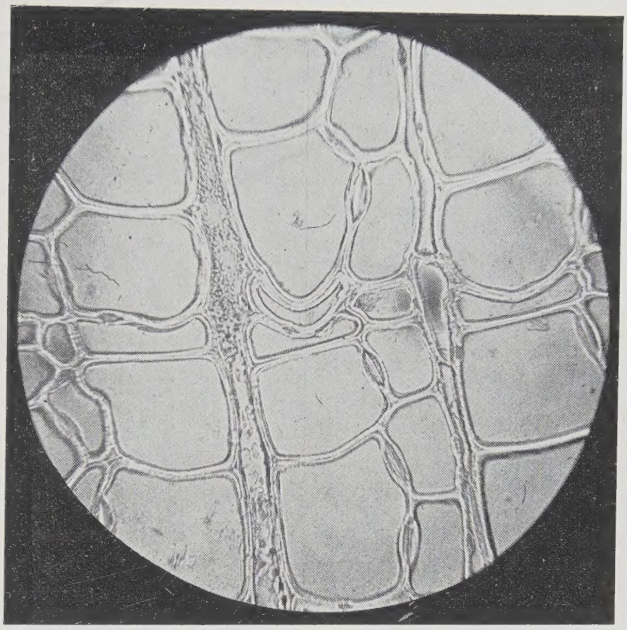

Fig. 3. Larix europaea oberh. Samaden 1900 m.
In der Mitte des Gesichtsfeldes liegt die konkav-konvexe Zelle 1; darüber Zelle 2.

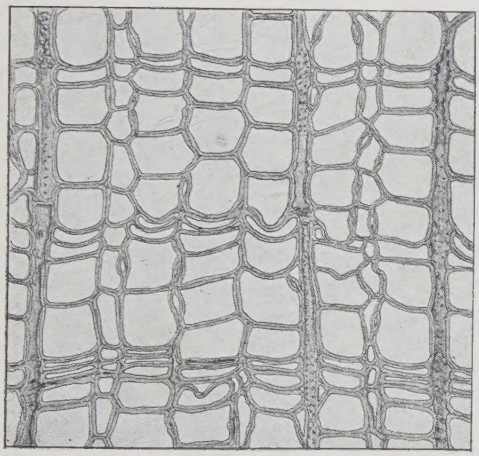

Fig. 2. Larix europaea
oberh. Samaden 1900 m.

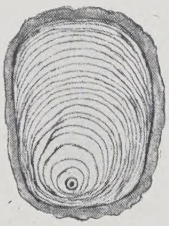

Fig. 4. Arctostaphylos uva ursi (schematisch). Vergr. 3 : 1.
Über dem Karer Pafs 2000 m.

Fig. 5. Larix europaea
oberh. Innsbruck 1900 m
nat. Gröfse.

Fig. 6. Picea excelsa
vom Sano albo ca. 2100 m
Vergr. 3 : 2.

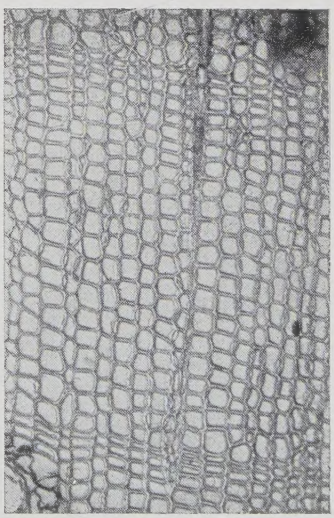

Fig. 7. Pinus montana var. uncinata
vom Engadin 2400 m.